第4章. 物理化学実験の安全ガイドライン

はじめに：物理化学実験を安全に行うために

物理化学分野の実験では、有機化学や無機化学の実験に比べ、大量の化学物質を扱うことはまれであり、化学物質の反応に伴う爆発や発火の危険性は相対的には高くない。しかし、化学における実験全般的な注意および安全上の留意点は共通であり、加えて、物理化学的な実験操作や測定等に特有な危険性も存在する。

ここでは、第 1 節、第 2 節で、化学の実験全般に共通する注意事項を簡単にまとめ、次に、第 3 節において物理化学分野の実験で遭遇する安全上の注意事項を述べることにする。物理化学以外の分野における化学の実験においても、物理化学的な操作や測定が行なわれることが多く、第 3 節で述べられていることは、そのような場面における安全のガイドラインとして知っておくと良いと考えられる。

第 1 節. 試薬の取り扱いに関する一般的注意
第 2 節. 化学の実験における一般的注意
第 3 節. 物理化学領域の実験、物理化学的な操作・測定に伴う安全上の注意事項

なお、本章の末尾に参考文献を挙げてある。安全上の注意、考え方等に関連して、これらの文献中の詳細な記載も参考にするとよい。

第 1 節.　試薬の取り扱いに関する一般的注意

- 実験に用いる試薬については、性質や毒性、取扱の注意点、廃棄方法などを理解しておく。特に、始めて使用する試薬については、事前に、よく調査しておく。
- 試薬の安全性については、MSDS (Material Safety Data Sheets) が普及している。実験研究用の試薬を供給しているメーカーから提供されている (Web サイト、CD-ROM など) ので、これを利用するとよい。米国のコーネル大学などの Web サイトなども便利である。また、環境省の Web サイトなどでも化学物質に関連した情報が調査・閲覧できる。オーソドックスに Merk Index や便覧・化合物事典の類をひくことも有効である。

第 2 節.　化学の実験における一般的注意

- 実験に適した服装・装備をととのえる。
  (白衣や作業着の着用。足の甲が露出しない靴をはく。長髪は束ねるか巻上げるかする。目の保護のため保護めがね、防護面などを常用する。)
- 実験に際しては、周辺の整理整頓を行い、使用器具を注意深く点検・取扱いしながら実施する。
- できるだけ少量の薬品で実験を行い、実験室に必要以上の量や種類の試薬を持ち込まない。また、不

必要に多量な溶液を調製しないよう、よく考えながら進める。

- 万一の事故発生の場合に備えて対策を充分たてておく。消火器、緊急シャワー、洗眼器などの安全設備の位置、使用法を確認し、応急処置の方法を知っておくこと。消火器については、その種類を確認、取扱い法についても日頃から心得ておく。
- もしも火災が発生したら、大声で周囲に知らせる。火元の人は自分で消そうとせず、冷静な他人にまかせる方が良い。周囲の可燃物は取り除き、延焼を防ぐ。また、ガス源、電源などをなるべく離れた場所で切る。
- 使用済みの試薬は、そのまま捨てないこと。決められた方法に従って安全化処理を行い、所定の場所で定められた方式で安全に廃棄処理を行うこと。

第 3 節. 物理化学領域の実験、物理化学的な操作・測定に伴う安全上の注意事項

1. ガラス器具の取扱いやガラス細工における注意

- ガラス器具は使用前によく点検し、傷のあるものの使用は避ける。特に、減圧、加圧、加熱、冷却するものについては入念に点検する必要がある。
- 三角フラスコのような平たい部分のある肉薄の容器は、絶対に減圧してはならない。
- デュワー瓶はわずかな傷で爆発的に破損することがあるので、瓶の中へ素手を入れたり、顔を近づけてはならない。
- ゴム栓やコルク栓にガラス管や温度計を差し込む時に折れて負傷することが多い。管に水またはアルコールやグリセリンを塗り、栓を回しながら少しずつ押し込む。この際、栓を持つ手と管をもつ手が、5 cm 以上離れていると、ガラス管などが折れ、大けがをすることがあるので、短く持って作業するように注意する。
- ホールピペットやメスピペットを安全ピペッターに差し込む時も、上記と同様の危険がある。安全ピペッターを持つ手とピペット類を持つ手を短く操作すること。
- ガラス細工の際、過熱されたガラスに触れてやけどをすることが多いので注意する。

2. 寒剤を扱う際の注意

寒剤としてよく用いるのは、ドライアイス、あるは液体窒素や液体ヘリウムなどの液化ガスである。液化ガスの運搬貯蔵容器は真空容器となっている。構造や操作法を十分に確かめておかなければならない。

大学において寒剤の供給を受ける場合には、大学の極低温センターで年度始めに開催される保安教育を受講しなければならない。また、その際のテキストに、寒剤の性質、取扱い方法、供給の受け方、貯蔵方法、運搬方法などがまとめられている。

- 凍傷にならないように注意する。液化ガスの飛沫が皮膚に飛び散っても皮膚が乾いていればすぐに気化するので凍傷にかかりにくいが、皮膚が水などで濡れていると液体が凍結し、凍傷をまねくので

注意が必要である。大量の寒剤を扱う時には、皮の手袋を使用する。軍手などは寒剤が透過するので、かえって凍傷を助長することになり、好ましくない。

- 寒剤を使用するときには、換気に注意して酸素欠乏にならないようにしなければならない。風通しのよくない部屋の場合、特に注意すること。
- 液体窒素トラップなどを大気に開放した状態で長時間放置すると、空気中の酸素が液化する。これが有機物と爆発的に反応したり、気化による体積膨張などで思わぬ事故に結びつくので、細心の注意が必要。有機物を近づけたりしないようにする。
- 液化ガスを取扱う際の鉄則は、液体を密封系に閉じ込めないことである。液化ガスが気化するとその体積は 800～1000 倍に増大することを認識する。

3. 高圧ガス（高圧ガスボンベ）の取り扱い

化学の実験で気体を使用する場合、容器（ボンベ）に充填された高圧ガスを減圧して使用する。ガスは、貯蔵、運搬の便宜上、高圧ガスとしてボンベと呼ばれる鋼鉄製の容器に圧縮されて入っている。高圧ガスはいったん使用を誤ると大きな事故につながる可能性が大きいので、取り扱いには細心の注意が必要である。最初は、取り扱いに慣れた人にそばで見ていてもらって、その指導の下で使うようにすること。

＜ボンベの保持・運搬＞

- 高圧ガスボンベは、日陰で風通しのよいところを選んで保持する。直射日光があたったり、熱源のそばに置くことのないようにする。
  （温度上昇に伴って圧力が上がり、安全弁が破裂するようなことを避ける。万が一、安全弁が破裂したときにはすぐに近寄らないで、圧力が下がるまで放置するのが無難。まわりの火気に気をつけ風通しをよくしできるだけ早くガスを外へ逃がす。）
- ボンベは、専用の鎖などで頑丈な架台に固定すること。重心が高いので、少しの振動や他の物体との接触によって、倒れることがあり、架台に固定しないで放置するのは非常に危険。地震があったとしても倒れることのないよう、処置しておくべきである。
- 液化ガスのボンベは横にして置かないこと。
- 運搬の際はバルブを保護するために必ずキャップを付けること。ボンベの一番弱いところはバルブである。

※ 以上のような事柄は、法的にも定められていることである。

＜バルブの操作＞

- ボンベ本体の上端についているバルブは、専用のレンチを用いて開閉すること。ペンチやスパナを用いると危険。開ける時は、1 回～1 回半左へ、静かに回すだけで良く、急激な開弁は非常に危険であるので気をつける。

＜減圧調整器（レギュレータ）・減圧弁の取り付けと操作＞

- 高圧ガスボンベのガス出口には減圧調整器が接続されるが、接続用のネジにはガスの種類によって右ネジと左ネジの区別がある。一般に可燃性ガスは左ネジで、その他のガスは、右ネジである。ヘリウムは可燃性ではないが左ネジであり、ネジ山の高さおよびピッチが可燃性ガスの左ネジと若干異なっている。また、酸素ガスの場合は、ガス出口がメスネジになっている。
- 減圧調整器を選択する際は、ボンベと接続ネジが合うことを確認する。1種類のガスには必ず一つの減圧調整器を用意する。1個の減圧調整器をいろいろなガスに共用しないこと。酸素の場合には、“禁油”と指定されたものを使用しなければならない。減圧調整器を購入する際にガス名を指定すると良い。
- 減圧調整器を取り付ける時は、まず、ボンベのバルブに付着した砂・泥・塵埃を拭い去り、ボンベのバルブを静かに2～3回開閉して水分や塵埃を取り去る。減圧調整器の取り付けパッキンの有無を調べ、接続する時にはスパナやレンチを用いてしっかりと固定する。接続部分からガス漏れの有無は、圧力をかけた状態で石けん水を塗布することによって容易に確認する事ができる。
- ガスを使用する時は圧力調整バルブを静かに右へ回し、低圧ゲージを見ながら希望の圧力に調整する。次にストップバルブを左に回すと低圧ガス出口から気体が出てくるようになっている。
- ボンベのバルブを開く場合は必ず身体や顔が減圧調整器の正面に向かわない位置で行なうこと。また、減圧調整器の圧力計を見る時は、決して正面から見ないで斜めの方向から見ること。これらの事は圧力計のガラスが破損した時、顔にあたらないようにするためである。

4. 電気災害とその防止

物理化学実験では、電気機器を用いて操作・測定を実施することが多い。電気による災害は、感電、マイクロ波やレーザーなどの強力な電磁波による被爆、および漏電による火災などがある。

- 電気機器の接地（アース）を完全にする。
- 電気機器の通電部や帯電部を直接に触れることが必要になったときは、電源を切り、その部分を必ず接地した状態にして、作業を進めること。電源スイッチをオフにしても、コンデンサーなどに電荷が蓄えられている場合があるので注意が必要。
- 電気機器からの電流の漏えいを避けるため、付着したごみや油を取り去って、機器とその周辺を清潔に保つこと。
- 高電圧や大電流を伴う実験は、単独で行なわないこと。複数名で実施すること。
- 電源やコード、ヒューズ、ブレーカー等は、機器の消費電力に適したものを用いること。
- 電源との接続は確実にし、接触不良を起こさないこと。
- 電気機器などを購入する際についてくる取扱説明書の安全上の注意を、使用前に読んで理解しておく。また、取扱説明書は、すぐに参照できるよう手近に保管すること。

5. 回転真空ポンプを使用する際の注意

物理化学実験ではしばしば真空状態を得るために、油回転真空ポンプや油拡散ポンプなどが使用され

る。油回転真空ポンプは、真空ポンプをモーターの動力で稼動させるしくみになっている。モーター直結型のものが多く市販されているが、ゴムベルトで動力を伝える型のものも依然として使用されていることがある。

購入時についてくる取扱説明書の安全上の注意を、使用前に読んで理解しておくこと。また、取扱説明書は、すぐに参照できるよう手近に保管すること。

- 実験用白衣の裾や、腰からぶらさげた手拭などが巻き込まれないように注意する。長髪の場合も注意。
- ゴムベルトの劣化、亀裂の有無を調べてから作動させる。
- ポンプの排気ガスで部屋の空気を汚染することがあるので、排気ガスを室外に誘導するなどの措置を行いながら使用する。
- 過負荷の状態でモーターに通電を続けると発熱して火災の原因となるので注意。
- 停電時には、電源を一旦切ること。通電が復帰する時に事故が発生する可能性があるので、それを防ぐためである。

6. 紫外可視分光光度計に関する注意

- 光源ランプ（重水素ランプ、ハロゲンランプ）の交換などは、光源を切ってから充分な時間が経過してから作業を始めること（点灯中および消灯直後、ランプは高温になっているため）。また、電源スイッチを切り、電源コードも抜いてから作業する。
- 光源ミラーの調整が必要な時は、紫外線（重水素ランプの光）から目を保護するために、眼鏡をかけること。点灯中のランプは高温になっているので素手で触れないこと。また、絶対にリード線に手やドライバーが触れないようにする（電撃を受けることがある）。
- 購入時についてくる取扱説明書の安全上の注意を、使用前に読んで理解しておく。また、取り扱い説明書は、すぐに参照できるよう手近に保管すること。

7. 蛍光分光光度計に関する注意

- 光源ランプ（キセノンランプ）には、高圧のガス（常温：1 MPa、点灯時：約 4 MPa）が封入されているため、衝撃を加えたり、石英ガラスの表面に傷などをつけると、破裂し、ガラス片が飛び散り、重症を負う恐れがある。保護面、厚手の長袖シャツ、保護眼鏡、手袋などの保護具をつけ、慎重に取り扱うこと。
- ランプの交換時には、バルブ（ガラスの部分）に力が加わらないように注意すること。
- 使用済みのランプも高い圧のガスが残っているので、新品のランプと同様に慎重に取り扱うこと。
- ランプを取り外す場合、交換や調整を行なう場合は、消灯操作（電源 off）後、ランプが冷えるまでの間、充分待ってから交換作業に取り掛かること。キセノンランプは点灯中や消灯直後は高温になっている。
- ランプの交換等で光源カバーを取り外すときは、電源遮断後、ランプが充分冷えるまでの間、2 時

間以上待ってから行うこと。(キセノンランプの電源 (〜30 kV) による感電のおそれ)

- 不要になったキセノンランプは、厚手の布で完全に包み、その上からハンマーなどでガラスを破砕し危険物として処理する。
- もしもホトマルを交換するような必要が生じた場合には、本体の電源スイッチが off になっていることを確認してから、実施すること (ホトマル電圧 (〜1000 V) による感電のおそれ)。
- 電源コード接続の際は、光度計本体の電源スイッチが off になっていることを確認すること。(電源電圧 (〜100 V) による感電のおそれ)
- キセノンランプの光を見る場合は、紫外線をカットする保護面や保護眼鏡などを着用し、眼を保護すること。たとえ散乱された反射光でも、眼に有害な紫外線を含んでいることに留意する。
- 購入時についてくる取扱説明書の安全上の注意を、使用前に読んで理解しておく。また、取扱説明書は、すぐに参照できるよう手近に保管すること。

8. 各種光源の取り扱い (紫外線ランプ、高圧水銀灯、キセノンランプ、等々)

- 点灯中のランプは、絶対に直接肉眼で見ないこと。眼の痛みや視力障害の原因になる。
- 光源を取り扱う際は、保護眼鏡や保護面 (例えば紫外線カット用) を着用すると良い。
- 冷却が必要な光源は、冷却しない場合は点灯させないこと。例えば、水冷式の高圧水銀灯などは、光源を点灯させてから冷却通水すると、ランプ冷却管が破損する恐れがある。
- 点灯中や消灯直後の光源には触れないこと。加熱しておりやけどの恐れがある。
- 購入時についてくる取扱説明書の安全上の注意を、使用前に読んで理解しておく。また、取扱説明書は、すぐに参照できるよう手近に保管すること。

9. レーザーの安全な取扱い

レーザー光は電磁波としての波面がそろい、指向性にすぐれ、エネルギー密度が高く、波長領域は真空紫外、紫外、可視、赤外、ミリ波に及ぶ。一般にレーザー光は生体に吸収されやすいので、取り扱いに十分注意する必要がある。また、十分に経験を積んだ者と一緒に扱うべきである。

- レーザー光の危険度について、十分認識していること。
- レーザー光を飛ばす光路は、目の高さを避けること。
- レーザー光の予想される光路は、レーザーが作動してなくてものぞきこまないこと。
- レーザー光の波長に適した保護めがね、保護面などを使用すること。
- レーザー発振を開始する時は、必ず他の人に声をかけて注意する。
- レーザーの装置は高圧電源を使用しているので、この点に注意して取扱うこと。

10. 強磁場実験での注意

- 超伝導マグネットでは強力な磁場が発生するので、磁気カードや FD などを近づけると記録が消えるので注意。
- 金属製の実験器具等が強力な磁場に吸い寄せられ、大きな事故につながる可能性がある。

- 心臓のペースメーカーを使用している者は近づいてはならない。
- 超伝導マグネットを形成するコイルの超伝導がクエンチした（破れた）場合、コイルに蓄えられていた磁気エネルギーがジュール熱として放出され、寒剤として用いている大量の液体ヘリウムが急激に蒸発する。従って、気密性の高い部屋で装置を使う場合は、部屋の換気に充分注意しなければならない。

11. X 線を用いる場合の注意

- 十分に経験を積んだ者と一緒に扱うこと。
- X 線用フィルムバッジを着用する。
- 高圧電源を使用しているので、感電に注意すること。
- 長期に X 線を扱う場合は定期健康診断を受けることが義務付けられている。

12. コンピュータやインターネットの利用

化学の実験に伴って、化学物質などの情報検索、書籍や論文の文献検索、および大型計算機利用などで、インターネットに接続されたコンピュータを活用する場面が、多いと考えられるが、『情報セキュリティ』、『情報モラル』についても留意し、安全な利用を心がけること。

参考文献

- 物理化学実験法（第 4 版）、千原秀昭・徂徠道夫編、東京化学同人、2000.
- 物理化学実験のてびき、足立吟也ほか、化学同人、1993.
- 物理化学実験法（増補版）、鮫島実三郎、裳華房、1985（昭和 60）.
- 物理化学実験、岡秀彦・広瀬哲也、共立出版、1964（昭和 39）.
- 保安教育テキスト～液体窒素利用の手引き～、琉球大学極低温センター.
- 分光蛍光光度計取り扱い説明書、日立.
- 分光光度計取り扱い説明書、島津.
- 分光光度計取り扱い説明書、日本分光.
- 化学安全ノート、日本化学会編、丸善、2002.
- 新版 実験を安全に行うため、化学同人編集部、化学同人、1993.
- 新版 続・実験を安全に行うため、化学同人編集部、化学同人、1987.
- 化学実験の安全指針（第 4 版）、日本化学会編、丸善、1999.
- 大学人のための安全衛生管理ガイド、鈴木直ほか、東京化学同人、2005.
- 学生のための化学実験安全ガイド、徂徠道夫ほか、東京化学同人、2003.
- これだけは知っておきたい化学実験セーフティガイド、日本化学会編、2006.
- 実験室の笑える？笑えない！事故実例集、田中陵二・松本英之、講談社、2001.
- 改訂パーフェクト化学実験全書（基礎編）、大塚明郎監修、東陽出版、1986.
- 化学実験操作書（改正版）、化学実験研究会、廣川書店、1988（平成元年）.

- イラストで見る化学実験の基礎知識（第 2 版）、飯田隆ほか編、丸善、2004.
- 化学実験マニュアル、荘司菊雄、技報堂出版、1996.
- 図解　基礎の化学実験法（Ⅰ）化学実験の基礎、西山隆造、オーム社、1983.
- 自然科学基礎実験（化学編）、北海道大学自然科学基礎実験（化学）実験書編集委員会編、三共出版、1996.
- 非化学系技術者のための化学実験入門、佐々木健・鈴木洸次郎編著、学術図書出版、1990.
- 第 5 版実験化学講座 5：化学実験のための基礎技術、日本化学会編、2005.
- 第 5 版実験化学講座 30：化学物質の安全管理、日本化学会編、2006.
- その他

エックス線作業主任

① 資格の内容

国家資格。レントゲンによって発見されたエックス線は、あらゆる分野において科学技術の発展に貢献しており、今後も同様の状況が持続すると考えられている。製造業や医療機関など各種検査・測定でエックス線装置が用いられているが、取り扱いを誤ると人体へ有害な影響を与える。

従って、安全かつ安心してエックス線を科学技術の発展や人間の生活に活用することが必要であり、そのためには、これを取り扱う仕事や職場において、「労働安全衛生法」に基づいた「電離放射線障害防止規則」という法律に従う義務が生じてくる。すなわち、エックス線を取り扱う事業所では、エックス線に関する知識・技能を身につけた作業主任者の監督のもとで業務を行なう事が義務付けられている。「エックス線作業主任」は、エックス線に携わる作業者らの安全と安心を確保するように努めなければならず、その取り扱いの責任者となる。

② 試験科目

「エックス線の管理に関する知識」、「関係法令」、

「エックス線の測定に関する知識」、「エックス線の生体に与える影響に関する知識」

③ 試験・申し込みの主な日程

年間4～6回程度（実施地区によって異なるので、（財）安全衛生技術試験協会、各安全衛生技術センターに問い合せが必要）。

受験料：8,300 円

④ 申し込み・問合せ先

安全衛生技術センター（各支部）。

＊ 試験センターホームページ：http://www.exam.or.jp/index.htm

参考・引用文献： エックス線作業主任者試験徹底研究、平井昭司ほか、オーム社、2006.